



16.11.2005

04 304 P PCT ä1

Korrekturverfahren für Zerspanungsmaschinen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung einer Abweichung zumindest einer Regelgröße von Zerspanungsmaschinen mit einem über eine Steuerung geregelten mechanischen Antrieb für ein Werkzeug und/oder ein Werkstück, wobei die Regelung mehrere Werte C, X, Z von mindestens drei Raumachsen c, x, z für die Steuerung und für den Antrieb aufweist und die Werte C, X, Z bezüglich der Achsen c, x, z einen funktionellen Zusammenhang in der Art  $Z = f_{bi}(C, X)$  aufweisen.

Es ist insbesondere von laufenden Herstellungsprozessen bereits allgemein bekannt, die von einer Steuerung berechneten oder vorgegebenen Soll-Größen mit den Ist-Größen des Werkzeugs zu vergleichen, um so eine Anpassung der Ist-Größen vorzunehmen. Ähnliches beschreibt auch die CH 425 958. Bei hochdynamischen Prozessen mit mehreren miteinander funktionell verknüpften Achsen ist dieses Regelungsverfahren jedoch nicht anwendbar, da zum Beispiel von dem Zeitpunkt der Abgabe der Soll-Größe von der Steuerung an den Antrieb an bis dem Zeitpunkt der tatsächlichen Positionierung des Antriebs etwa vier Arbeits- und Rechentakte vollzogen worden sind. Die Steuerung gibt in der Regel zudem einen Vorsteuerwert separat vor, der die Einstellungen des Antriebs bzw. den Steuerstrom des Antriebs in gewünschter Weise beeinflusst. Damit sind die Soll-Größen und die jeweiligen Ist-Größen nicht mehr zuzuordnen bzw. zu vergleichen.

Bisher hat man das Werkstück nach der Herstellung optisch oder mechanisch vermessen und so auf etwaige Abweichungen beim Herstellungsprozess geschlossen.

Die WO 02/37168 A beschreibt ein Verfahren zur Steuerung einer 4-Achsen (Z, Z', C, X) Zerspanungsmaschine, bei der ein funktioneller Zusammenhang in der Form  $Z = f(C, X)$  besteht. Dabei wird eine „feed forward“ - Regelung beschrieben, die den erfindungsgemäßen Differenzwert nicht vorsieht.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Bearbeitungsverfahren derart auszubilden und anzuordnen, dass eine optimale Darstellung der Abweichung zwischen dem Soll-Wert und dem tatsächlich generierten Werkstück-Wert gewährleistet ist.

Gelöst wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, dass aus mehreren durch Messmittel erfasste Steuerungs-Ist-Werten ( $C_{p,s}$ ,  $X_{p,s}$ ,  $Z_{p,s}$ ) und/oder ausgelesene Antriebs-Ist-Werten ( $C_{p,a}$ ,  $X_{p,a}$ ,  $Z_{p,a}$ ) ein Protokoll erstellt wird und zumindest bezüglich der z-Achse ein Steuerungs-Soll-Wert nach  $Z_{bi,s} = f_{bi}(C_{p,s}, X_{p,s})$  und/oder ein Antriebs-Soll-Wert nach  $Z_{bi,a} = f_{bi}(C_{p,a}, X_{p,a})$  berechnet wird, wobei zumindest bezüglich der z-Achse ein Steuerungs-Differenzwert nach  $D_{z,s} = Z_{p,s} - Z_{bi,s}$  und/oder ein Antriebs-Differenzwert nach  $D_{z,a} = Z_{p,a} - Z_{bi,a}$  berechnet wird. Entsprechendes ist für die c-Achse und die x-Achse vorgesehen. Es ist zu beachten, dass zur Berechnung des Soll-Wertes wie z. B.  $Z_{bi,a}$  der jeweilige Protokollwert, also der Ist-Wert wie z. B.  $C_{p,a}$  und  $X_{p,a}$  verwendet wird.

Hierdurch wird erreicht, dass der Ist-Wert einer Achse mit dem berechneten Soll-Wert dieser Achse auf der Basis der Ist-Werte der anderen Achsen unter Einbeziehung deren

funktionellen Zusammenhangs  $f_{bi}$  verglichen wird. Dieser Ist-Wert kommt dem tatsächlichen Wert, wie er gegebenenfalls nur vereinzelt durch ein nachträgliches Messverfahren, zum Beispiel durch mechanisches Abtasten oder durch ein optisches Messverfahren wie ein Hologramm, ermittelt werden könnte, sehr nahe. Die geringe Anzahl von Messpunkten beim mechanischen Abtasten lässt ohnehin keine Auswertung von kleinen Fehlern zu, die beispielsweise aus dem Haftreibungsverhalten eines defekten Maschinenachsenlagers hervorgerufen werden, da eine solche Auflösung nicht möglich ist. Daneben ist das optische Messverfahren äußerst aufwendig und langwierig, so dass die Anzahl verschiedener Werkstücke bzw. die Herstellungsvariation sehr begrenzt ist.

Dabei ist es vorgesehen, dass mindestens eine Raumachse als translatorische Raumachse  $x$ ,  $z$  und mindestens eine Raumachse als rotatorische Raumachse  $c$  ausgebildet sein kann.

Vorteilhaft ist es hierzu auch, dass zumindest für den Antrieb und die  $z$ -Achse ein Schlepp-Differenzwert nach  $D_{z,a}^{\varphi} = Z_{p,a} - Z_{bi,a}^{\varphi}$  mit  $Z_{bi,a}^{\varphi} = f_{bi}(C_{p,a} + \Delta\varphi, X_{p,a})$  ermittelt wird, wobei der Wert  $\Delta\varphi$  einer Phasenverschiebung der  $c$ -Achse entspricht. Somit bleibt der Einfluss einer kontinuierlichen bzw. konstanten Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  der  $c$ -Achse bei der Qualitätsbestimmung des Schneidvorgangs unberücksichtigt. Diese Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  führt letztlich lediglich zu einer Verdrehung der generierten Linsenkontur ausgehend von einer theoretischen Anfangsposition, wobei die Verdrehung durch eine Korrektur der Einbauposition der so hergestellten Linse ausgeglichen wird.

Eine zusätzliche Möglichkeit ist gemäß einer Weiterbildung, dass die Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  zwischen  $0,5^\circ$  und  $3^\circ$ , insbesondere  $1,0^\circ$  beträgt, wobei die Ermittlung von  $Z_{bi,a}^\varphi$  zwischen  $+\Delta\varphi$  und  $-\Delta\varphi$  mit einer Schrittgröße zwischen  $0,05^\circ$  und  $0,2^\circ$ , insbesondere von  $0,1^\circ$  erfolgt. Damit ist eine ausreichende Auflösung zur Erkennung eines Schleppfehlers gegeben.

Ferner ist es vorteilhaft, dass zumindest aus den Differenzwerten  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$  und/oder den Schlepp-Differenzwerten  $D_{z,a}^\varphi$  zumindest der z-Achse je ein peak-to-valley Wert für die Steuerung nach  $D_{z,s,ptv} = D_{z,s,max} - D_{z,s,min}$  und für den Antrieb nach  $D_{z,a,ptv} = D_{z,a,max} - D_{z,a,min}$ ,  $D_{z,a}^\varphi_{ptv} = D_{z,a,max}^\varphi - D_{z,a,min}^\varphi$  berechnet wird, wobei  $D_{z,s/a,min}$  dem minimalen und  $D_{z,s/a,max}$  dem maximalen Differenzwert der jeweiligen Messung und  $D_{z,a,max}^\varphi$ ,  $D_{z,a,min}^\varphi$  der jeweiligen Position der c-Achse unter Berücksichtigung von  $\pm\Delta\varphi$  entspricht. Entsprechendes ist auch für die anderen Achsen vorgesehen.

Vorteilhaft ist es auch, dass zumindest für den Antrieb und zumindest bezüglich der z-Achse ein Fehler-Differenzwert nach  $D_{z,a}^f = Z_{p,a} - Z_{bi,a}^f$  mit  $Z_{bi,a}^f = f_{bi}(C_{p,s}, X_{p,s})$  ermittelt wird. Der Fehler-Differenzwert  $D_{z,a}^f$  gilt dabei als Maß für die Abweichung des jeweiligen Schneidprozesses, der auch das Erkennen von weiteren Maschineneinflussgrößen wie Lagerfehler ermöglicht. Entsprechendes ist auch für die Steuerung und die jeweiligen anderen Achsen vorgesehen.

Dabei ist es vorgesehen, dass die Funktion  $f_{bi}$  einen 3-D bikubischen Flächenspline und/oder Spiralspline darstellt. Durch die an jedem Gitterpunkt des Flächensplines bekannten Polynomkoeffizienten kann jeder beliebige Punkt im Gitter

des Flächensplines berechnet werden. Der Spiralspline wird ausgehend von verschiedenen Gitter-Punkten des Flächensplines über die Polynomkoeffizienten berechnet.

Von Bedeutung ist für die vorliegende Erfindung, dass die Differenzwerte  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,s}$ , die Schlepp-Differenzwerte  $D_{z,a}^{\phi}$ , **die jeweiligen peak-to-valley-Werte**  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$ ,  $D_{z,a}^{\phi ptv}$  und/oder der Ist-Wert  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  zumindest der z-Achse dargestellt werden, wobei zumindest die Darstellung von  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$  und/oder  $D_{z,a}^{\phi ptv}$  mit dem jeweils kleinsten **peak-to-valley-Wert** erfolgt. Die anderen Messwerte, denen eine andere Phasenverschiebung  $\Delta\phi$  bzw. ein anderer Schleppfehler der c-Achse zugrunde liegt, werden dabei wie oben beschrieben vernachlässigt. Dieser Phasenverschiebung  $\Delta\phi$  kann durch die Einbauposition Rechnung getragen werden. Entsprechendes ist auch für die Steuerung und die jeweiligen anderen Achsen vorgesehen.

Im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Ausbildung und Anordnung ist es von Vorteil, dass die Größe und/oder die Abweichung zumindest des **peak-to-valley Wertes**  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,a}^{\phi ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$  und/oder des Ist-Wertes  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  über der jeweiligen Werkstückposition dargestellt wird. Die Darstellung kann dabei über eine Umfangslinie und/oder eine Umfangsspirale unter Angabe des Winkels und des Radius erfolgen.

Vorteilhaft ist es ferner, dass bei der Darstellung des Differenzwertes **und/oder das Schlepp-Differenzwertes**  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  zwischen negativen und positiven **Werten** optisch **und/oder nach dem Betrag der Werte optisch** unterschieden wird. Dabei ist es besonders vorteilhaft, dass positive und/oder negative Differenzwerte **und/oder Schlepp-**

**Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^\varphi$**  ihrem Betrag nach mit unterschiedlichen Farbtönen in der dem Betrag entsprechenden Intensität optisch abgestuft werden. Positive Differenzwerte **und/oder des Schlepp-Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^\varphi$**  könnten dabei ihrem Betrag nach beispielsweise von gelb nach rot abgestuft werden und negative Differenzwerte **und/oder des Schlepp-Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^\varphi$**  ihrem Betrag nach von grün nach blau. Andere Farbstufen sind auch vorgesehen. Daneben ist eine Abstufung durch verschiedene Muster in der Art des Ausführungsbeispiels vorgesehen.

Ferner ist es vorteilhaft, dass eine überlagerte Darstellung des Differenzwertes **und/oder des Schlepp-Differenzwertes  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^\varphi$**  und des Ist-Wertes  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  vorgesehen ist, wobei der jeweilige Maßstab für beide Werte unterschiedlich ist. Während sich der absolute Ist-Wert  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  im Bereich von mehreren Millimetern bewegt, liegen die Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^\varphi$  bei Mikrometern, also um den Faktor 1000 niedriger. Die Darstellung gemäß Figur 2 ist dabei dennoch aussagekräftig.

Daneben ist es von Vorteil, dass für eine oder mehrere andere Achsen  $x$ ,  $c$  die Soll-Werte  $C_{bi}$ ,  $X_{bi}$ , die Differenzwerte  $D_{x/c,a}$ ,  $D_{x/c,s}$ , der peak-to-valley Wert  $D_{x/c,a,ptv}$ ,  $D_{x/c,a}^\varphi_{ptv}$ ,  $D_{x/c,s,ptv}$ ,  $D_{x/c,s}^\varphi_{ptv}$ , der Fehler-Differenzwert  $D_{x/c,a}^f$ ,  $D_{x/c,s}^f$  und/oder der Schlepp-Differenzwert  $D_{x/c,s}^\varphi$ ,  $D_{x/c,a}^\varphi$  für die Steuerung und/oder für den Antrieb berechnet werden. Somit ist eine umfassende Auswertung des Schneidergebnisses möglich.

Schließlich ist es von Vorteil, dass bei der spanenden Bearbeitung des Werkstücks neben einem Hauptschnitt und

einem optionalen Feinschnitt zusätzlich ein Korrekturschnitt, zumindest unter Verwendung der Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  vorgesehen ist. Neben der Möglichkeit, das vorgehend beschriebene Verfahren zur Einstellung der verschiedenen Parameter der Zerspanungs- bzw. Schneidemaschine zu nutzen, kann nach einem Hauptschnitt, der in der Regel das Ende der schneidenden Bearbeitung darstellt, zusätzlich ein Korrekturschnitt vorgesehen werden. Durch den Korrekturschnitt können dann zumindest die positiven Abweichungen des Werkstücks nachträglich spanend bearbeitet werden.

Besonders vorteilhaft ist es hierzu auch, dass das vorgehend genannte Verfahren für eine Zerspanungsmaschine zum Herstellen von optischen Linsen aus Kunststoff eingesetzt wird.

Letztlich ist es von Vorteil, dass die Werte C, X, Z der Achsen c, x, z in das kartesische Koordinatensystem oder in das Polarkoordinatensystem umgerechnet werden. Der Wechsel zwischen verschiedenen Koordinatensystemen ermöglicht den Umgang mit den verschiedensten Kunden- und Herstellerdaten.

Dabei ist es vorteilhaft, dass ausgehend von einem theoretischen Schneidpunkt eines ideellen punktförmigen Werkzeugs die Werte C, X, Z der Achsen c, x, z für den Einsatz eines kreisförmigen Schneidplättchens umgerechnet werden, wobei das kreisförmige Schneidplättchen einen Mittelpunkt aufweist, der dem theoretischen Schneidpunkt entspricht. Diese sogenannten off-set-Daten stellen die Grundlage für den oben genannten Flächenspline dar, der damit die off-set-Fläche bestimmt, die als Grundlage für den Spiralspline dient.

Hierbei ist es vorteilhaft, dass zumindest ein Differenzwert  $D_{z,a}$  und/oder ein Schlepp-Differenzwert  $D_{z,a}^{\varphi}$  als Ausschlusskriterium für die Steuerungs-Ist-Werte ( $C_{p,s}$ ,  $X_{p,s}$ ,  $Z_{p,s}$ ) und/oder als Einstellungskriterium für die verschiedenen Maschinenparameter bzw. die Maschinensteuerung verwendet wird.

Die Erfindung betrifft auch eine Zerspanungsmaschine mit einem über eine Steuerung geregelten mechanischen Antrieb für ein Werkzeug und/oder ein Werkstück, wobei die Regelung mehrere Werte  $C$ ,  $X$ ,  $Z$  von mindestens drei Raumachsen  $c$ ,  $x$ ,  $z$  für die Steuerung und für den Antrieb aufweist und zur Bestimmung der Abweichung der Regelgrößen das vorstehend beschriebene Verfahren Anwendung findet.

Dabei ist es vorteilhaft, dass eine Ausgabeeinheit für die Darstellung der vorgehend beschriebenen Werte, insbesondere der Differenzwerte  $D_{z,a}$  und/oder der Schlepp-Differenzwerte  $D_{z,a}^{\varphi}$  vorgesehen ist.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung sind in den Patentansprüchen und in der Beschreibung erläutert und in den Figuren dargestellt. Es zeigt:

Figur 1 eine Darstellung der Differenzwerte einer Linsenoberfläche;

Figur 2 die Darstellung des  $z$ -Wertes mit der Darstellung des entsprechenden Differenzwertes.

Ein in Figur 1 dargestelltes Werkstück bzw. eine optische Linse 1 weist eine von der Soll-Oberfläche abweichende und insoweit fehlerbehaftete Ist-Oberfläche auf.

Ausgehend von einer nicht dargestellten Soll-Oberfläche besitzt die hier dargestellte Oberfläche verschiedene



Gebiete 2.1 - 2.3, 3.1 - 3.3, in denen der Ist-Wert von dem theoretischen Soll-Wert abweicht. Dabei handelt es sich bei den mit 2.1 - 2.3 gekennzeichneten Gebieten, also den gepunkteten Flächen, um positive Abweichungen 2 vom Soll-Wert und bei den Gebieten 3.1 - 3.3, also den kariert gekennzeichneten Gebieten, um negative Abweichungen 3 vom Soll-Wert.

Neben der grundsätzlichen Unterscheidung zwischen positiven 2.1 - 2.3 und negativen 3.1 - 3.3 Abweichungen, also positiven und negativen Differenzwerten, werden die jeweiligen Differenzwerte auch dem Betrag nach abgestuft. So finden sich die positiven Differenzwerte betreffend neben den Gebieten mit einer Abweichung 1. Grades (2.1) auch Gebiete mit einer Abweichung 2. Grades (2.2) sowie 3. Grades (2.3). Bei den verschiedenen Abstufungsgraden handelt es sich bei dieser Darstellungsweise mit grundsätzlich getrennten unterschiedlichen Mustern um verschiedene Abweichungswertbereiche, die dem jeweiligen Abweichungsgrad zumindest optisch zugeordnet werden. Bei einer hier nicht dargestellten farblichen Abstufung sind die verschiedenen Abweichungsgrade weniger digitalisiert bzw. fließend ineinander übergehend.

In entsprechender Weise sind bei den negativen Differenzwerten, kariert dargestellt, ebenfalls Gebiete mit Abweichungen 1. Grades (3.1), Abweichungen 2. Grades (3.2) und Abweichungen 3. Grades (3.3) gegeben.

In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist es ebenfalls vorgesehen, weitere über diese Abweichungsgrade hinausgehende digitalisierte Abweichungsgrade vorzusehen, die eine höhere Auflösung dieser Differenzwertstruktur gewährleisten.

Das in Figur 2 dargestellte Schaubild zeigt den z-Wert 4 der in Figur 1 dargestellten Linse 1 zum einen absolut (oberes Schaubild) und zum anderen den jeweiligen Differenzwert zum Soll-Wert (unteres Schaubild). In beiden Darstellungen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Größe des z-Wertes 4 sowie des Differenzwertes dem Betrag nach eine unterschiedliche Skalierung vorgesehen. Dem hier dargestellten z-Wert 4 ist ein Außenradius von 30,621 mm zugrunde gelegt, also nahe am Rand der Linse mit einem Durchmesser von ca. 60 mm. Ausgehend von einem Anfangswert 0,0, der dem unbearbeiteten Rohling zugrunde liegt, verläuft der hier gezeigte Ist-z-Wert 4 in einem Bereich zwischen 3,723 mm und 5,194 mm unterhalb des ehemaligen 0-Niveaus. Der entsprechende Differenzwert, also der Abweichungswert des dargestellten Ist-z-Wertes 4 verläuft dabei zwischen 7,9  $\mu\text{m}$  oberhalb und 7,8  $\mu\text{m}$  unterhalb des Soll-z-Wertes 4. In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine überlagerte Darstellung der beiden Werte zumindest über einen Teilbereich und mit ausreichender Skalierung vorgesehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Abweichung zumindest einer Regelgröße von Zerspanungsmaschinen mit einem über eine Steuerung geregelten mechanischen Antrieb für ein Werkzeug und/oder ein Werkstück (1), wobei die Regelung mehrere Werte  $C, X, Z$  bezüglich mindestens dreier Raumachsen  $c, x, z$  für die Steuerung und für den Antrieb regelt und die Werte  $C, X, Z$  bezüglich der Achsen  $c, x, z$  einen funktionellen Zusammenhang  $f_{bi}$  in der Form  $Z = f_{bi}(C, X)$  aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) mit mehreren durch Messmittel erfassten Steuerungs-Ist-Werten ( $C_{p,s}, X_{p,s}, Z_{p,s}$ ) und/oder

Antriebs-Ist-Werten ( $C_{p,a}, X_{p,a}, Z_{p,a}$ ) ein Protokoll erstellt wird,

- b) zumindest bezüglich der z-Achse ein Steuerungs-Soll-Wert nach

$$Z_{bi,s} = f_{bi}(C_{p,s}, X_{p,s})$$

und/oder ein

Antriebs-Soll-Wert nach

$$Z_{bi,a} = f_{bi}(C_{p,a}, X_{p,a})$$

berechnet wird,

- c) zumindest bezüglich der z-Achse ein Steuerungs-Differenzwert nach

$$D_{z,s} = Z_{p,s} - Z_{bi,s}$$

und/oder ein

Antriebs-Differenzwert nach

$$D_{z,a} = Z_{p,a} - Z_{bi,a}$$

berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zumindest für den Antrieb und die z-Achse ein  
Schlepp-Differenzwert nach

$$D_{z,a}^{\varphi} = Z_{p,a} - Z_{bi,a}^{\varphi}$$

mit

$$Z_{bi,a}^{\varphi} = f_{bi} (C_{p,a} + \Delta\varphi, X_{p,a})$$

ermittelt wird, wobei der Wert  $\Delta\varphi$  einer  
Phasenverschiebung der c-Achse entspricht, **die zu einer  
Verdrehung der generierten Linsenkontur führt.**

3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  zwischen  $0,5^{\circ}$  und  $3^{\circ}$ ,  
insbesondere  $1,0^{\circ}$  beträgt, wobei die Ermittlung von  
 $Z_{bi,a}^{\varphi}$  zwischen  $+\Delta\varphi$  und  $-\Delta\varphi$  mit einer Schrittgröße  
zwischen  $0,05^{\circ}$  und  $0,2^{\circ}$ , insbesondere von  $0,1^{\circ}$  erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zumindest aus den Differenzwerten  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$   
und/oder den Schlepp-Differenzwerten  
 $D_{z,a}^{\varphi}$  zumindest der z-Achse je ein peak-to-valley Wert  
für die Steuerung nach

$$D_{z,s,ptv} = D_{z,s,max} - D_{z,s,min}$$

und für den Antrieb nach

$$D_{z,a,ptv} = D_{z,a,max} - D_{z,a,min}$$

$$D_{z,a}^{\varphi,ptv} = D_{z,a,max}^{\varphi} - D_{z,a,min}^{\varphi}$$

berechnet wird, wobei  $D_{z,s/a,min}$  dem minimalen und  $D_{z,s/a,max}$   
dem maximalen Differenzwert der jeweiligen Messung und  
 $D_{z,s/a,max}^{\varphi}$ ,  $D_{z,s/a,min}^{\varphi}$  der jeweiligen Position  
 $\varphi, +\Delta\varphi$  und  $-\Delta\varphi$  der c-Achse **unter Berücksichtigung von  
+/- $\Delta\varphi$  entspricht.**

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest für den Antrieb und zumindest bezüglich der z-Achse ein Fehler-Differenzwert nach

$$D_{z,a}^f = Z_{p,a} - Z_{bi,a}^f$$

mit

$$Z_{bi,a}^f = f_{bi} (C_{p,s}, X_{p,s})$$

ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktion  $f_{bi}$  einen bikubischen Flächenspline und/oder Spiralspline darstellt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche **4 bis 6**, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenzwerte  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,s}$ , die Schlepp-Differenzwerte  $D_{z,a}^\phi$ , **die jeweiligen peak-to-valley-Werte  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$ ,  $D_{z,a}^\phi_{ptv}$**  und/oder der Ist-Wert  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  zumindest der z-Achse dargestellt werden, wobei zumindest die Darstellung von  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$  und/oder  $D_{z,a}^\phi_{ptv}$  mit dem jeweils kleinsten **peak-to-valley-Wert** erfolgt.
8. Verfahren nach **einem der Ansprüche 4 bis 7**, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe und/oder die Abweichung zumindest des **peak-to-valley Wertes  $D_{z,a,ptv}$ ,  $D_{z,a}^\phi_{ptv}$ ,  $D_{z,s,ptv}$**  und/oder des Ist-Wertes  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  über der jeweiligen Werkstückposition dargestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 **oder** 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass bei der Darstellung des Differenzwertes **und/oder**  
**des Schlepp-Differenzwertes**  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  zwischen  
negativen (3) und positiven (2) **Werten** und/oder nach  
dem Betrag (3.1 - 3.3, 2.1 - 2.3) der **Werte** optisch  
unterschieden wird.
10. Verfahren nach Anspruch 7 **oder** 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass positive (2) und/oder negative (3) Differenzwerte  
**und/oder Schlepp-Differenzwerte**  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  ihrem  
Betrag (3.1 - 3.3, 2.1 - 2.3) nach mit  
unterschiedlichen Farbtönen und/oder dem Betrag (3.1 -  
3.3, 2.1 - 2.3) der **Werte** nach mit unterschiedlichen  
Farbtonintensitäten optisch abgestuft werden.
11. Verfahren nach **einem der Ansprüche 7 bis 9**,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine überlagerte Darstellung des Differenzwertes  
**und/oder des Schlepp-Differenzwertes**  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  und  
des Ist-Wertes  $Z_{p,s}$ ,  $Z_{p,a}$  vorgesehen ist, wobei der  
jeweilige Maßstab für beide Werte unterschiedlich ist.
12. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass für eine oder mehrere andere Achsen x, c die Soll-  
Werte  $C_{bi}$ ,  $X_{bi}$ , die Differenzwerte  $D_{x/c,a}$ ,  $D_{x/c,s}$ , der  
peak-to-valley Wert  $D_{x/c,a,ptv}$ ,  $D_{x/c,a}^{\phi ptv}$ ,  $D_{x/c,s,ptv}$ ,  $D_{x/c,s}^{\phi ptv}$ ,  
der Fehler-Differenzwert  $D_{x/c,a}^f$ ,  $D_{x/c,s}^f$  und/oder der  
Schlepp-Differenzwert  $D_{x/c,s}^{\phi}$ ,  $D_{x/c,a}^{\phi}$  für die Steuerung  
und/oder für den Antrieb berechnet werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass bei der spanenden Bearbeitung des Werkstücks (1) neben einem Hauptschnitt und einem optionalen Feinschnitt zusätzlich ein Korrekturschnitt, zumindest unter Verwendung der Differenzwerte  $D_{z,s}$ ,  $D_{z,a}$ ,  $D_{z,a}^{\phi}$  vorgesehen ist.
14. Verfahren für eine Zerspanungsmaschine zum Herstellen von optischen Linsen aus Kunststoff nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte C, X, Z der Achsen c, x, z in das kartesische Koordinatensystem oder in das Polarkoordinatensystem umgerechnet werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ausgehend von einem theoretischen Schneidpunkt eines ideellen punktförmigen Werkzeugs die Werte C, X, Z der Achsen c, x, z für den Einsatz eines kreisförmigen Schneidplättchens umgerechnet werden, wobei das kreisförmige Schneidplättchen einen Mittelpunkt aufweist, der dem theoretischen Schneidpunkt entspricht.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Differenzwert  $D_{z,a}$  und/oder ein Schlepp-Differenzwert  $D_{z,a}^{\phi}$  als Ausschlusskriterium für die Steuerungs-Ist-Werte ( $C_{p,s}$ ,  $X_{p,s}$ ,  $Z_{p,s}$ ) und/oder als Einstellungskriterium für die verschiedenen Maschinenparameter verwendet wird.

18. Zerspanungsmaschine mit einem über eine Steuerung geregelten mechanischen Antrieb für ein Werkzeug und/oder ein Werkstück (1), wobei die Regelung mehrere Werte C, X, Z von mindestens drei Raumachsen c, x, z für die Steuerung und für den Antrieb aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Abweichung der Regelgrößen ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 Anwendung findet.
19. Zerspanungsmaschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ausgabeeinheit für die Darstellung der Werte gemäß einer der Ansprüche 6 bis 11 vorgesehen ist.



Zusammenfassung (Figur 1)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung einer Abweichung zumindest einer Regelgröße von Zerspanungsmaschinen mit einem über eine Steuerung geregelten mechanischen Antrieb für ein Werkzeug und/oder ein Werkstück 1, wobei die Regelung mehrere Werte  $C, X, Z$  von mindestens drei Raumachsen  $c, x, z$  für die Steuerung und für den Antrieb aufweist und die Werte  $C, X, Z$  bezüglich der Achsen  $c, x, z$  einen funktionellen Zusammenhang in der Art  $Z = f_{bi}(C, X)$  aufweisen. Dabei wird aus mehreren durch Messmittel erfasste Steuerungs-Ist-Werten  $(C_{p,s}, X_{p,s}, Z_{p,s})$  und/oder ausgelesene Antriebs-Ist-Werten  $(C_{p,a}, X_{p,a}, Z_{p,a})$  ein Protokoll erstellt und zumindest bezüglich der  $z$ -Achse ein Steuerungs-Soll-Wert nach  $Z_{bi,s} = f_{bi}(C_{p,s}, X_{p,s})$  und/oder ein Antriebs-Soll-Wert nach  $Z_{bi,a} = f_{bi}(C_{p,a}, X_{p,a})$  berechnet, wobei zumindest bezüglich der  $z$ -Achse ein Steuerungs-Differenzwert nach  $D_{z,s} = Z_{p,s} - Z_{bi,s}$  und/oder ein Antriebs-Differenzwert nach  $D_{z,a} = Z_{p,a} - Z_{bi,a}$  berechnet wird. Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Zerspanungsmaschine, der ein solches Verfahren implementiert ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Werkstück
- 2 positive Abweichung
  - 2.1 positive Abweichung 1. Grades
  - 2.2 positive Abweichung 2. Grades
  - 2.3 positive Abweichung 3. Grades
- 3 negative Abweichung
  - 3.1 negative Abweichung 1. Grades
  - 3.2 negative Abweichung 2. Grades
  - 3.3 negative Abweichung 3. Grades
- 4 z-Wert

Fig.1

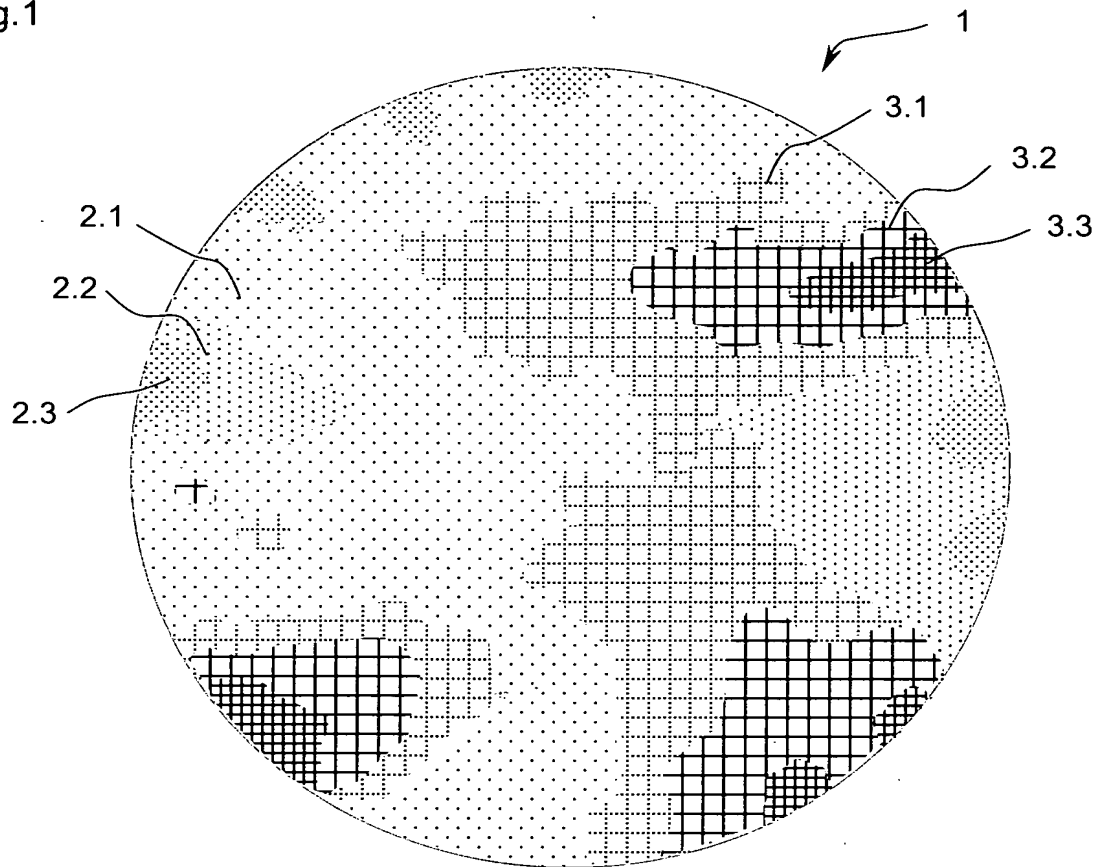


Fig.2

